

# Gestão do Produto

**Prof. Dr.-Ing. Klaus Schützer**

**Lab. de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura - SCPM**

**Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP**

**email: [schuetzer@unimep.br](mailto:schuetzer@unimep.br)**

**<http://www.unimep.br/scpm>**

**Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion - DiK**

**Technische Universität Darmstadt - TUD**

**email: [schuetzer@ptw.tu-darmstadt.de](mailto:schuetzer@ptw.tu-darmstadt.de)**

**[http://www.dik.tu-darmstadt.de/fachgebiet\\_dik/index.en.jsp](http://www.dik.tu-darmstadt.de/fachgebiet_dik/index.en.jsp)**

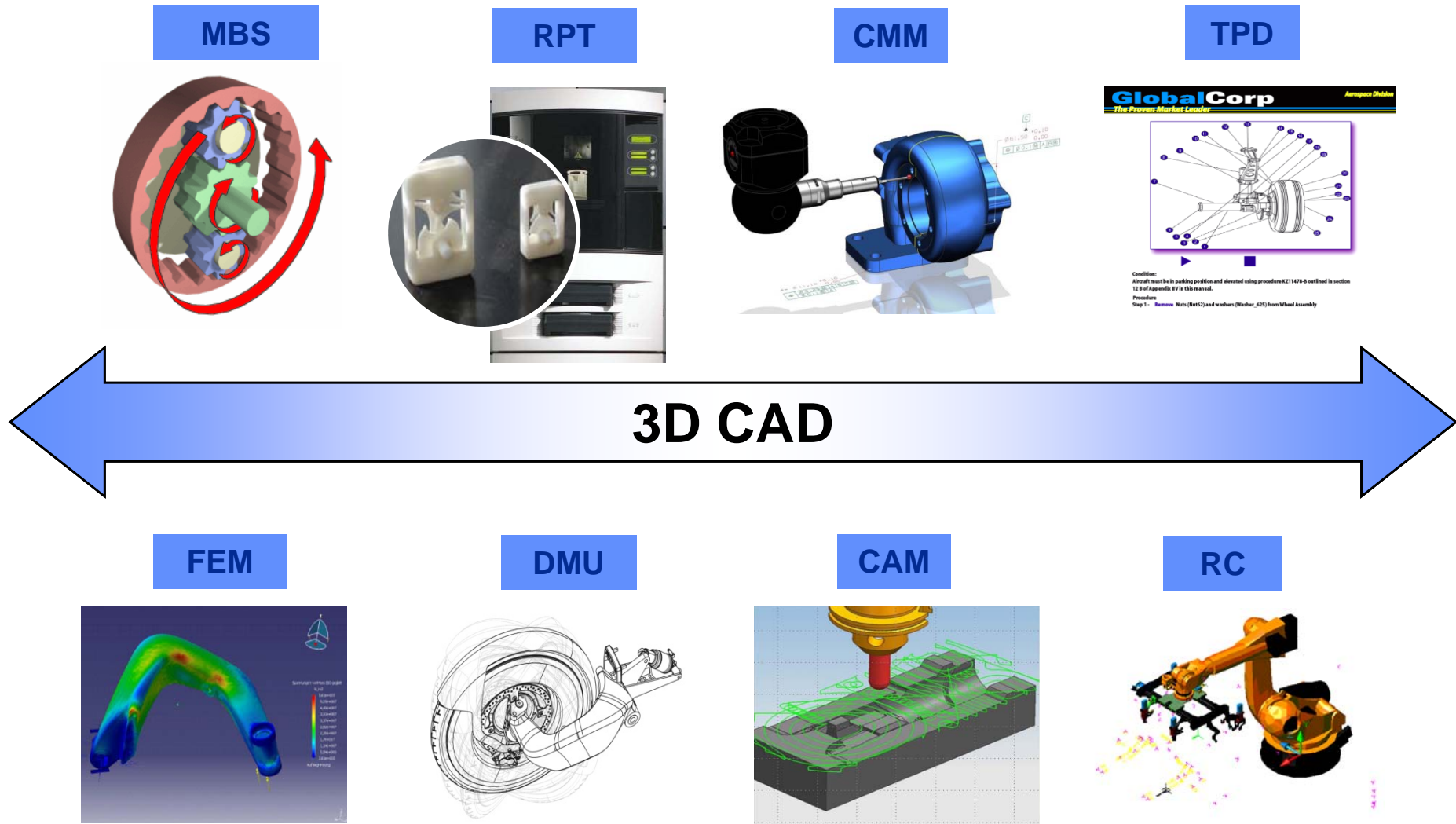


Figura 2

- **MBS – Multi-Body Simulation – Simulação de Múltiplos Corpos**
- **RPT – Rapid Prototyping – Prototipagem Rápida**
- **CMM – Coordinate Measuring Machine – Máquina de Medir por Coordenadas**
- **TPD – Technical Product Documentation – Documentação Técnica do Produto**
- **FEM – Finite Element Method – Método de Elementos Finitos**
- **DMU – Digital Mock-up – Protótipo Digital (Modelo Digital do Produto)**
- **CAM – Computer Aided Manufacturing – Manufatura Auxiliada por Computador**
- **RC – Robot Controller – Programação de Robôs**

## ● Cadeia de Processo CAx

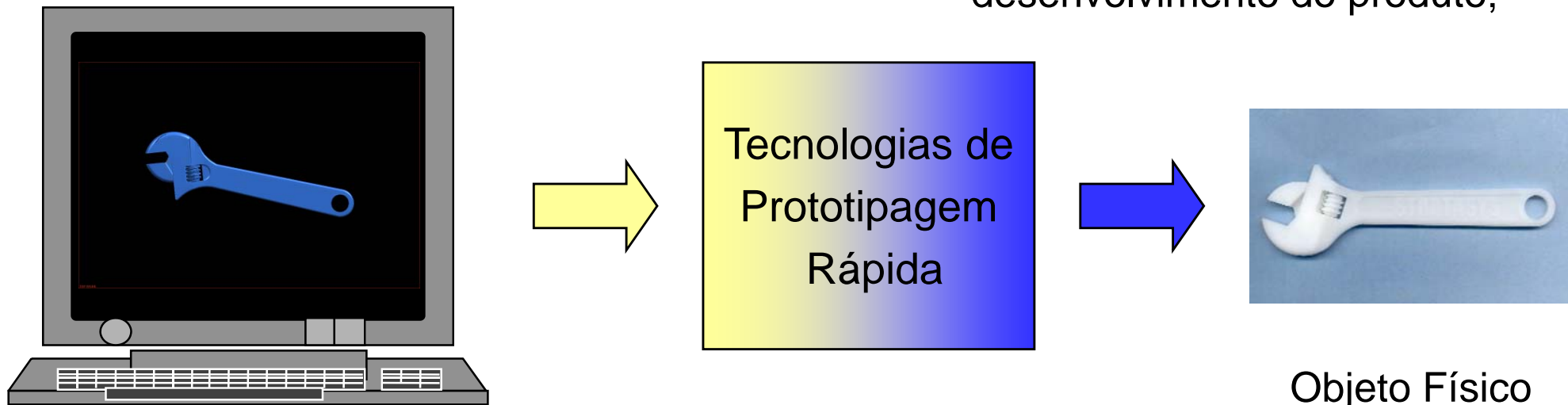
- CAD – DMU
- CAD – VR / AR
- CAD – RPT
- CAD – FEM
- CAD – MKS
- CAD – TPD
- CAD – CAM
- CAD – PPS

## Processo de Prototipagem Rápida

- A prototipagem rápida consiste em um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de um modelo 3D gerado em sistema CAD.

## Características:

- Permite a criação de protótipos/moldes rápidos a partir do projeto virtual;
- Auxílio visual para teste de *design* e funcionalidade do produto;
- Ferramenta nas fases iniciais do desenvolvimento do produto;



Sistema CAD  
Modelo 3D

Objeto Físico

- **1987 - Empresa americana 3D Systems lança seu sistema de Estereolitografia (StereoLithography - STL);**
- **1988 - 1990 As empresas japonesas NTT Data e Sony/D-MEC e a empresa Alemã Eletro Optical Systems - EOS passaram a comercializar máquinas de estereolitografia;**
- **1991 - Surgem as tecnologias conhecidas como Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM) da empresa americana Stratasys, Cura Sólida na Base (SGC) da israelense Cubital e Manufatura de Objetos em Lâminas (LOM);**
- **1992 - Surge a tecnologia conhecida como Sinterização Seletiva a Laser (SLS) da empresa americana DTM;**
- **1994 - Muitas outras tecnologias surgiram, porém todas baseadas nos processos já conhecidos;**
- **1996 - As empresa americanas BPM Technology e 3D Systems lançam seus sistemas por impressão 3D a jato de tinta.**

Cadeia de Processos CAD-RPT	Conteúdo	Métodos / Formatos
1. Descrição da Cadeia de Processos	Uso de dados do modelo CAD, a fim de obter protótipos físicos diretos. A tecnologia de prototipagem rápida (RPT) são também chamados de processo de fabricação aditivo (generativo).	Acoplamento CAD e RPT
2. Modelo Inicial (Modelo CAD)	Modelo de volume, principalmente o modelo B-rep	CAD – nativo, STEP, IGES, VDAFS, STL
3. Modelo Alvo	Novo modelo geométrico que se aproxima do modelo inicial, que é representado na forma de superfícies planas (camadas). Essas superfícies são aproximadas por faces triangulares.	RPT – nativo, STL por exemplo: para estereolitografia, sinterização seletiva a laser, etc.
4. Transformação dos dados	Derivação dos modelos RPT da geometria do modelo 3D.	Os algoritmos para o cálculo do modelo RPT
5. Informações adicionais	Simplificação admissível (no sistema CAD) e as estruturas de suporte (o sistema de RPT).	Modelagem
6. Interpretação dos resultados e feedback	Protótipos para usar em experimentos. Atualização/modificação do modelo CAD.	Conselhos, experiência, outros métodos

Figura 7

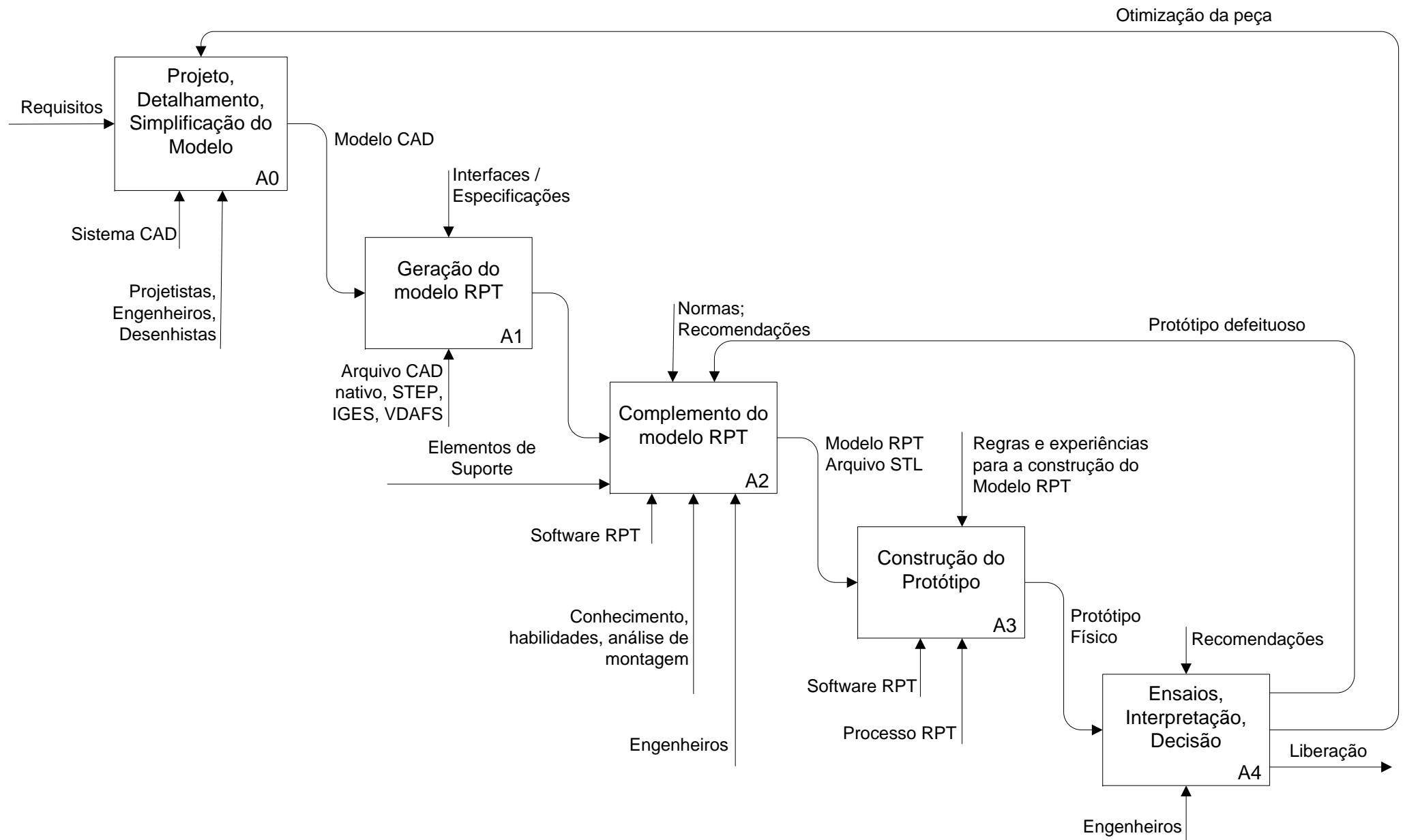


Figura 8



# Cadeia de processos CAD – Etapas RPT

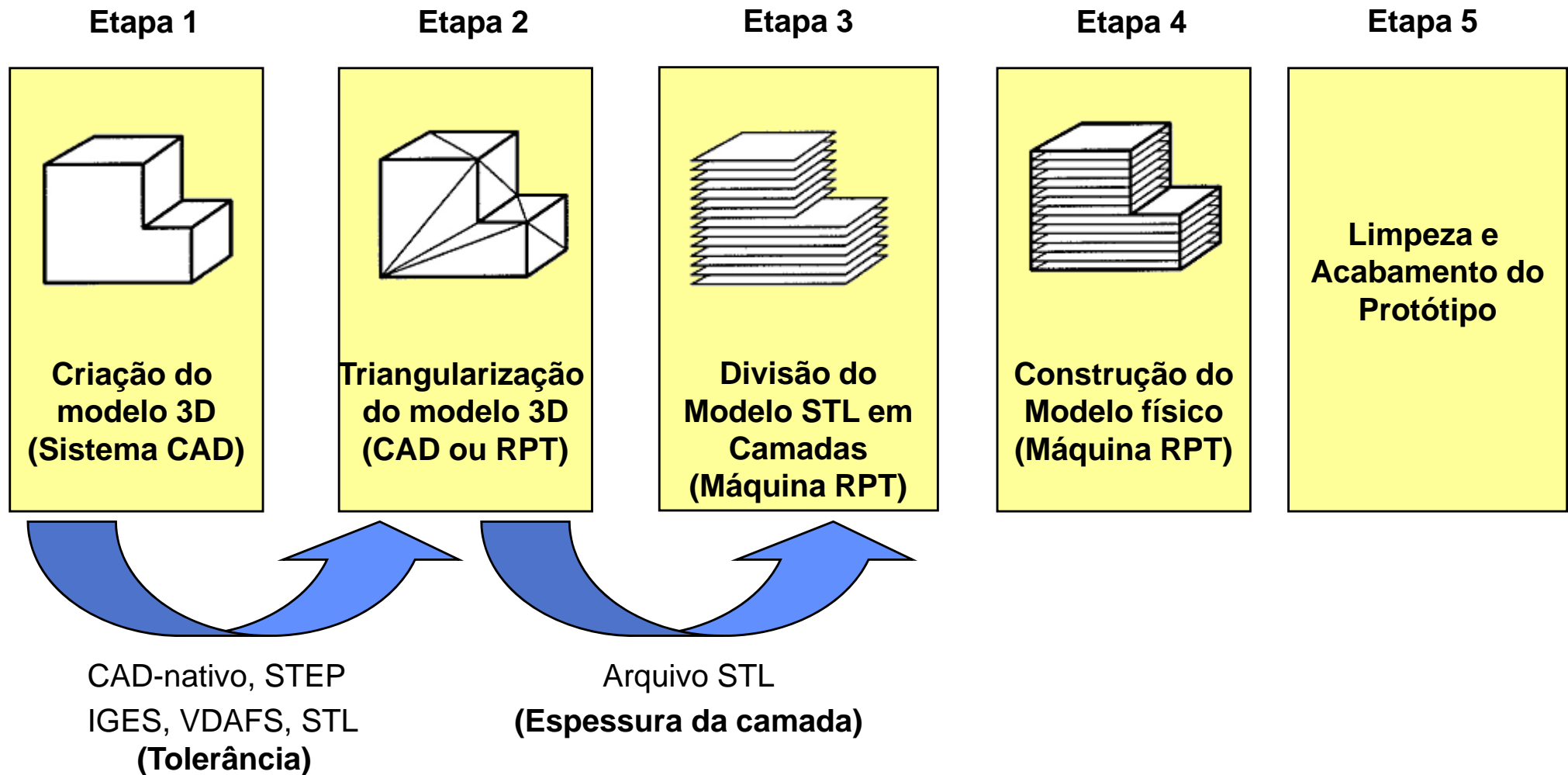


Figura 9

- **O modelo geométrico é representado por uma malha de triângulos a partir de uma tolerância definida pelo usuário**
- **Vantagens**
  - Modelo matemático simples
  - Fácil comunicação
  - Disponível em todos os sistemas CAD
- **Desvantagens**
  - Imprecisão do modelo geométrico (Tolerância)

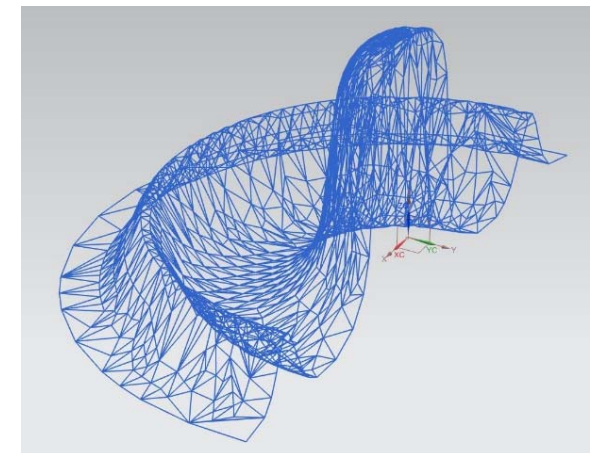
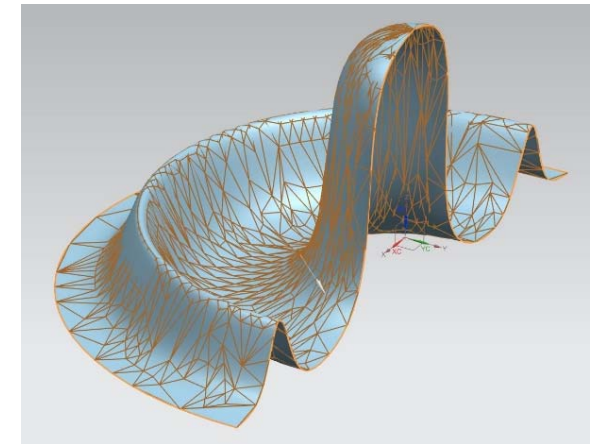
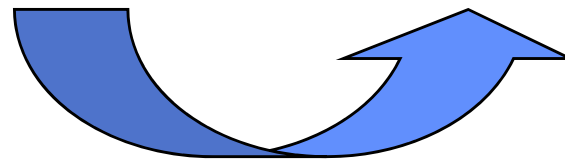
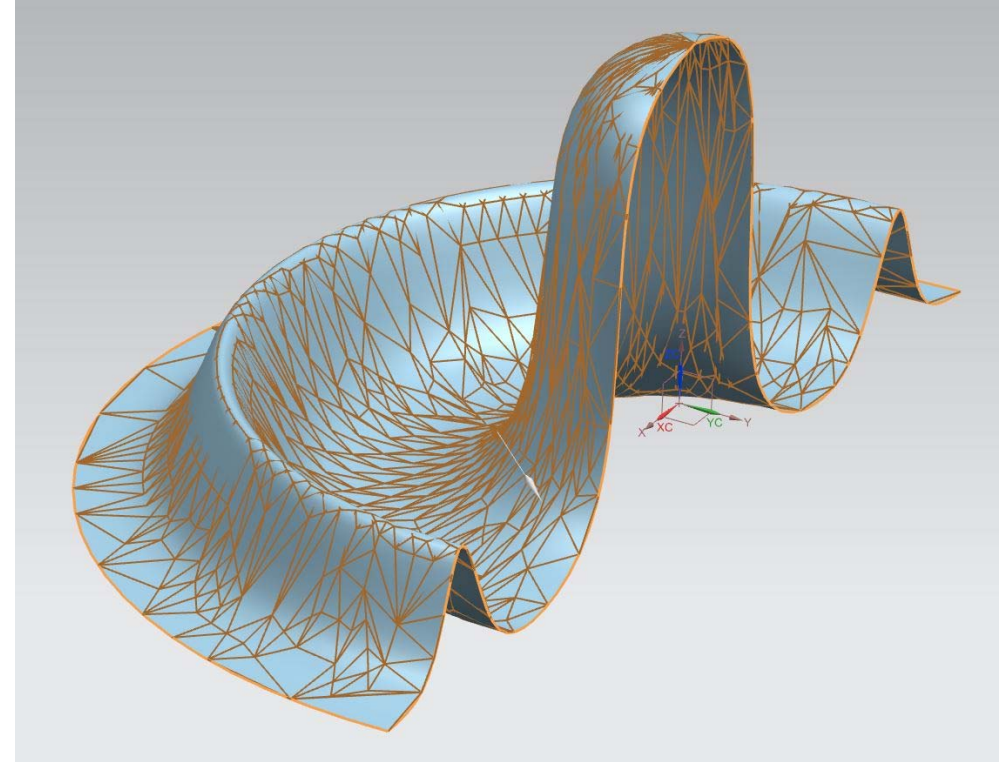
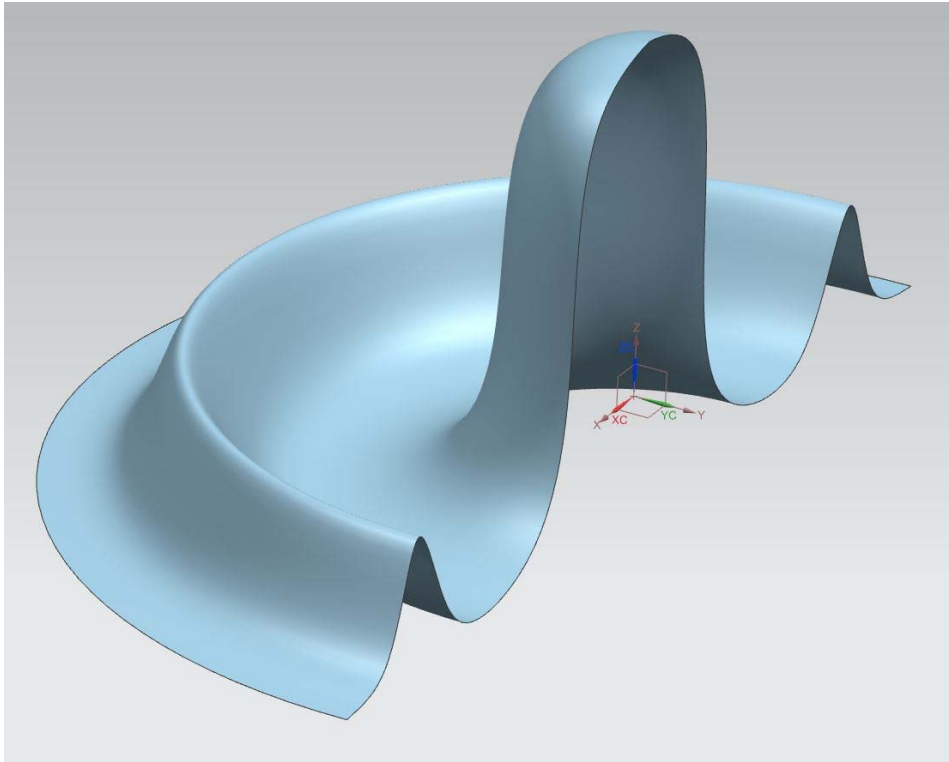


Figura 10

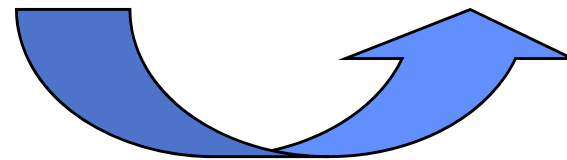
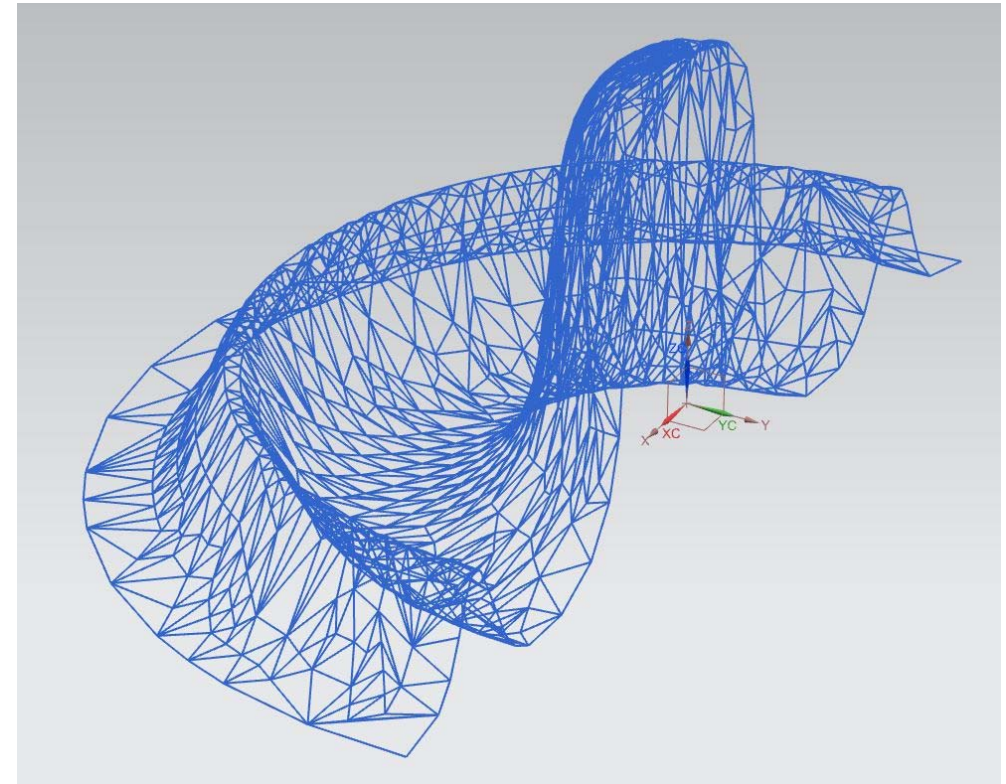
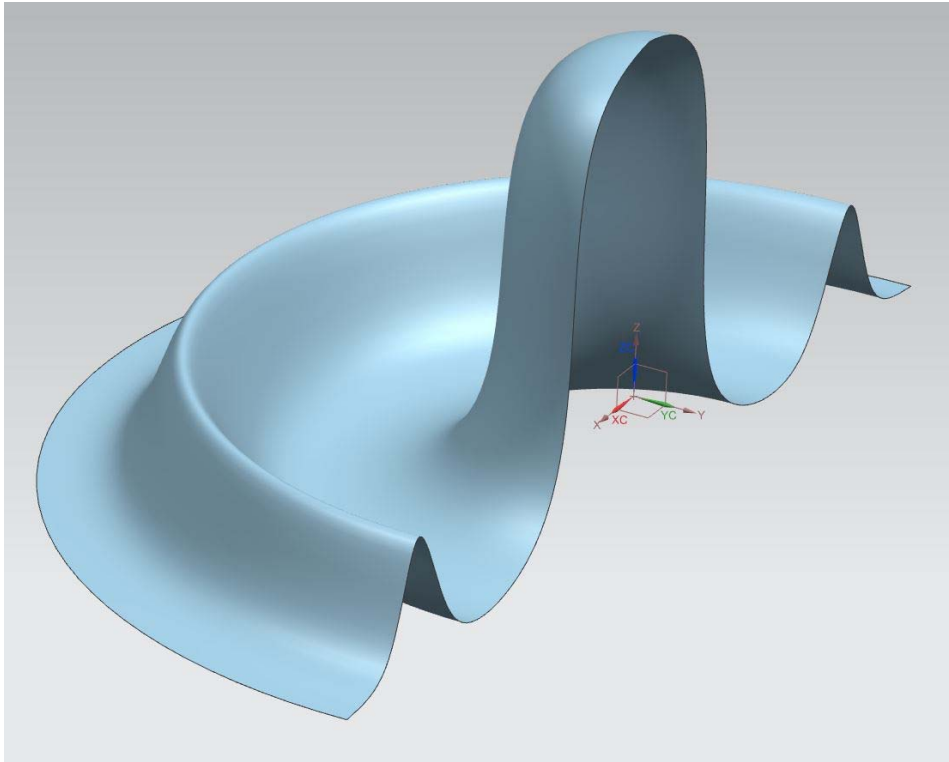
# Triângularização do Modelo CAD – Qualidade do Modelo I



CAD-nativo → STL  
(Tolerância)

Figura 11

# Triângularização do Modelo CAD – Qualidade do Modelo II



CAD-nativo → STL  
(Tolerância)

Figura 12

# Triângularização do Modelo CAD – Qualidade do Modelo III

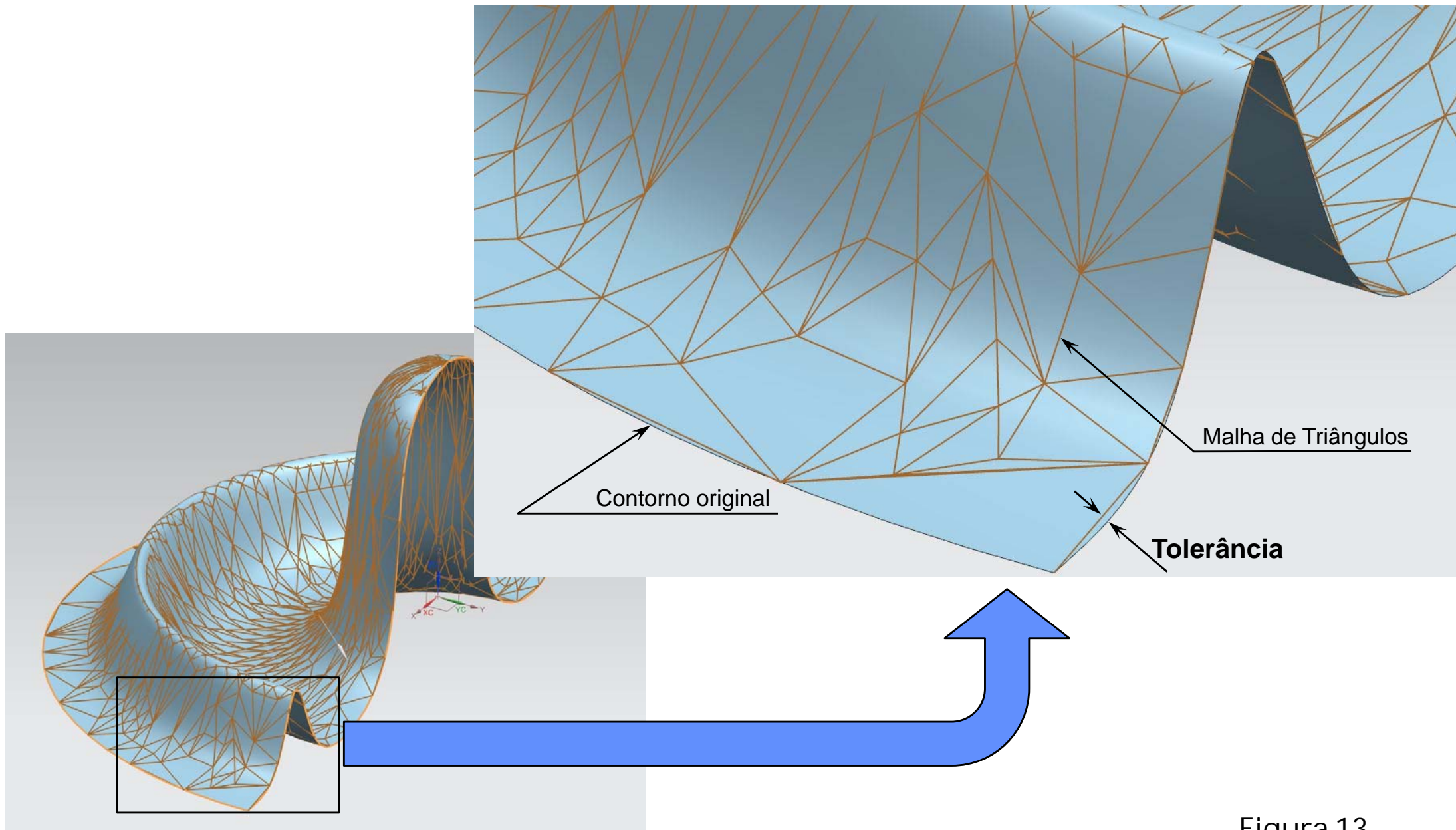


Figura 13

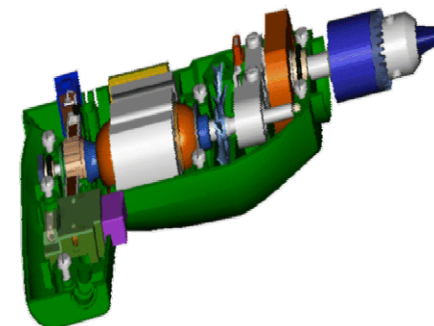
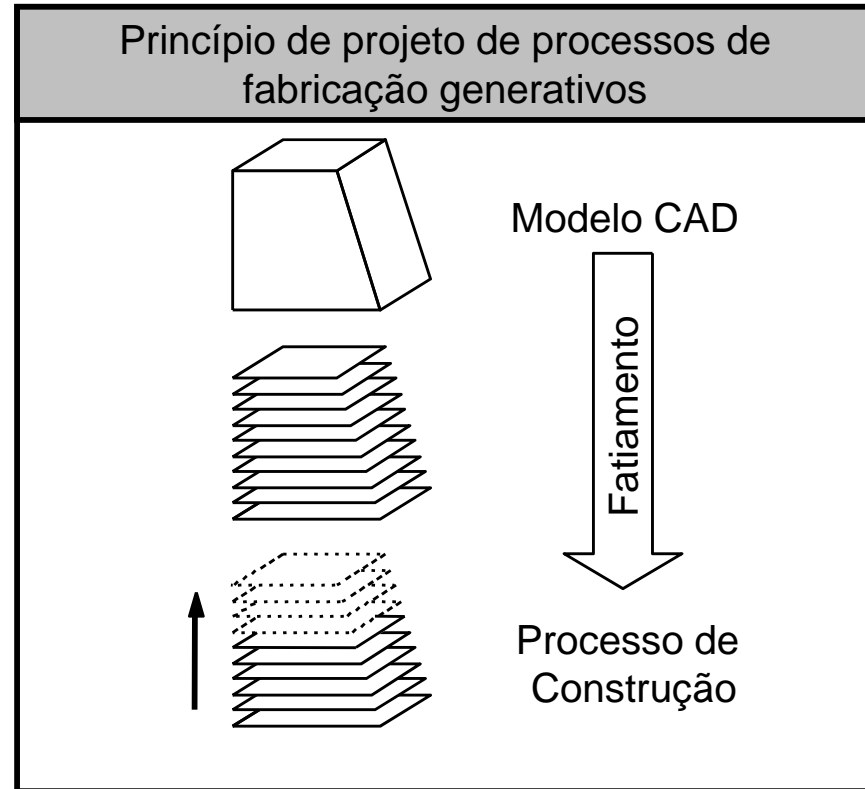
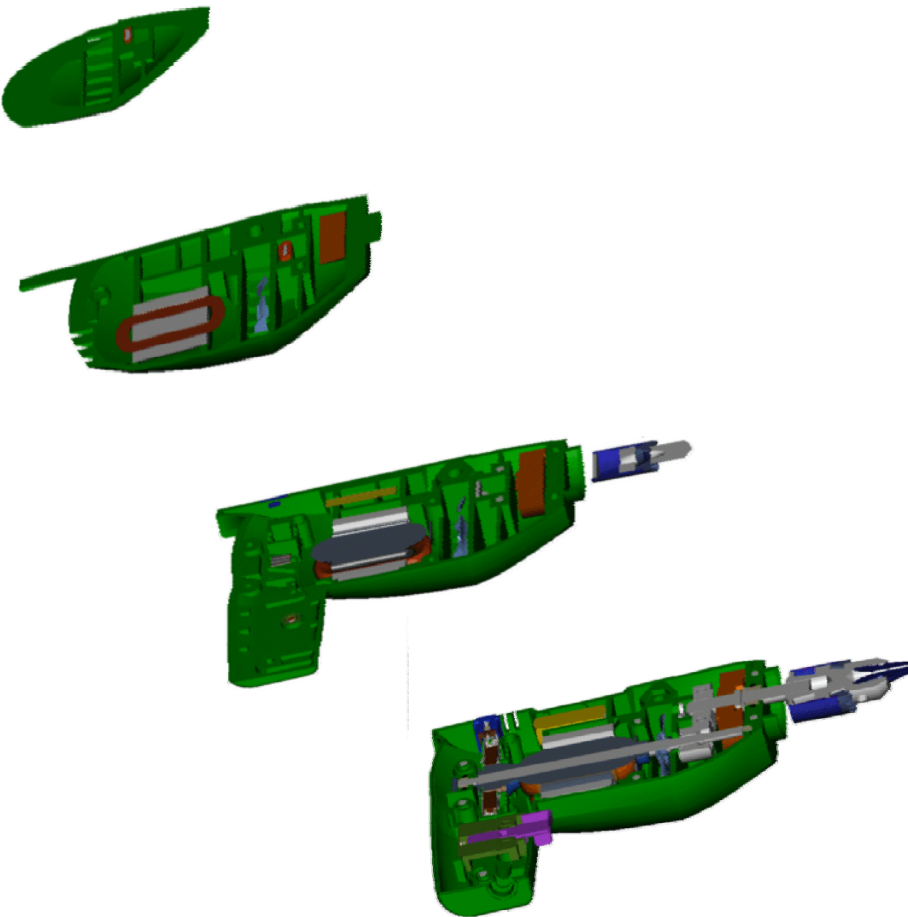


Figura 14



# Tipos de Manufatura Aditiva – Principais processos

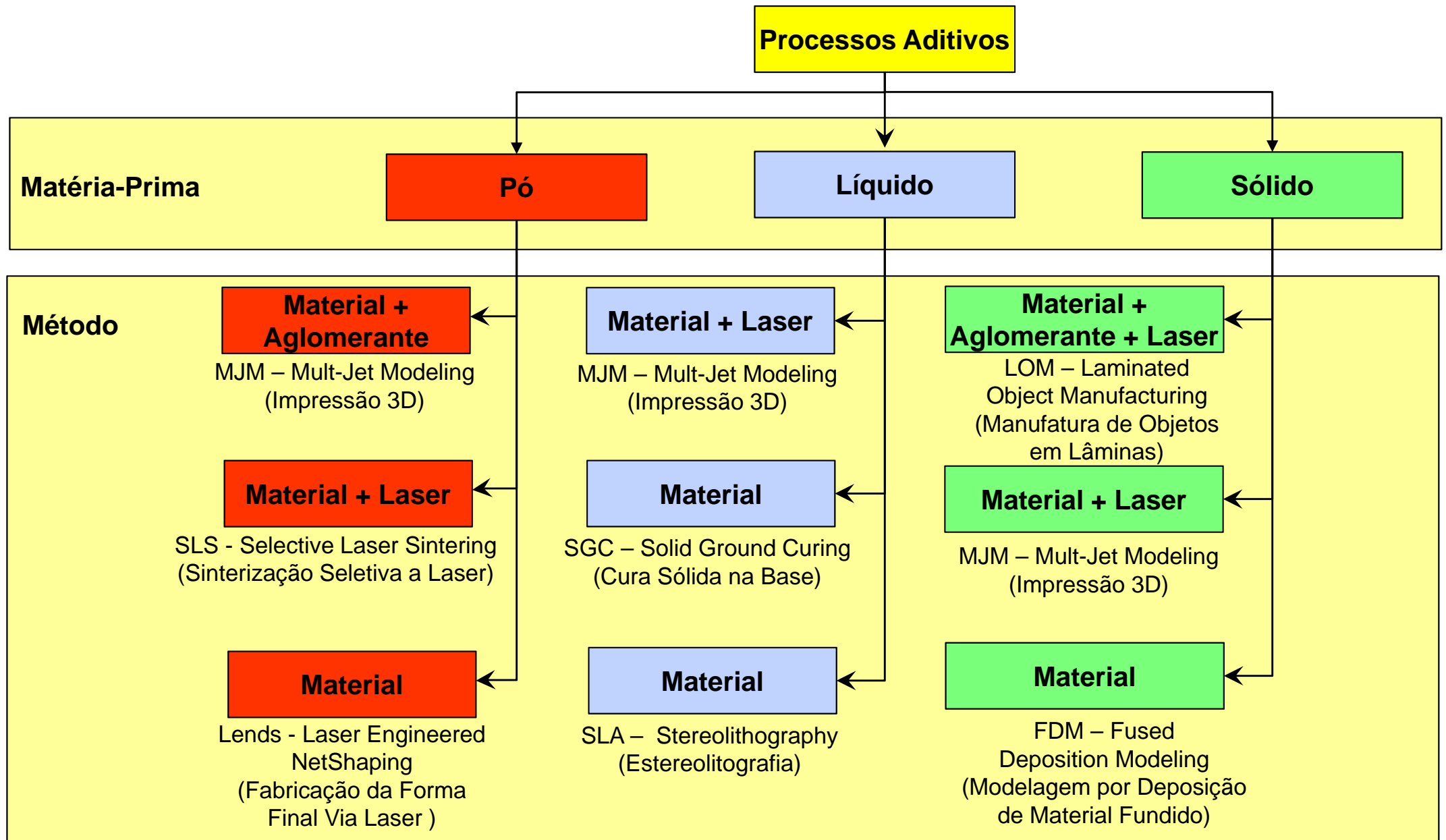
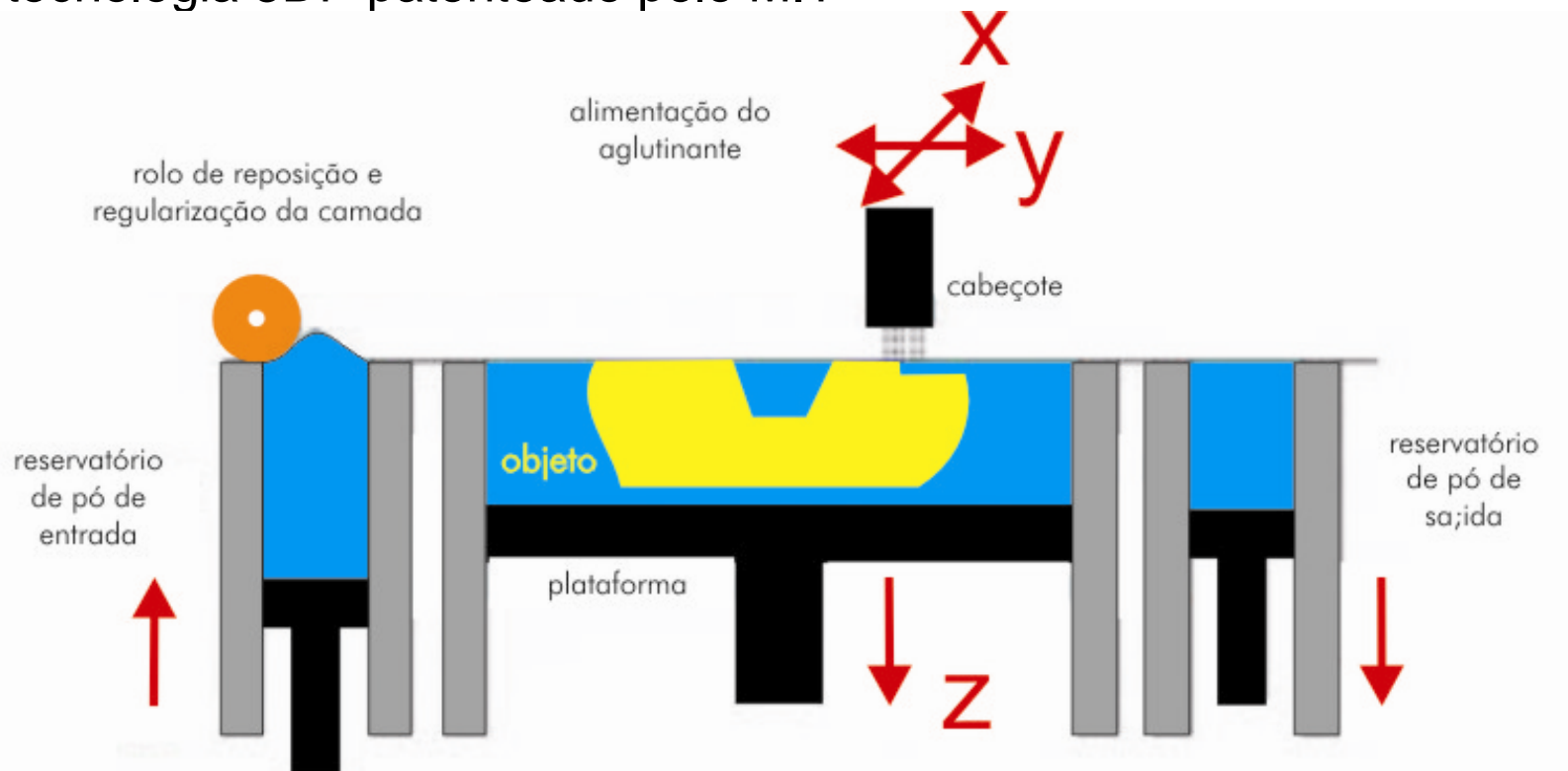


Figura 16



## ● MJM – Mult-Jet Modeling (Impressão 3D)

- A empresa Z Corporation (EUA) adquiriu a licença para continuar o desenvolvimento e comercializar equipamentos baseados no princípio da tecnologia 3DP patenteado pelo MIT



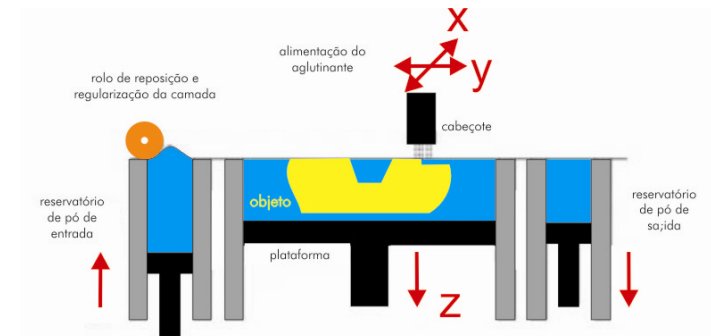
[Fonte: Google Imagens]

Figura 17

## ● MJM – Mult-Jet Modeling

### ● Princípio

- Neste processo o pó é adicionado e distribuído com uso de um dispositivo que normalmente é um rolo e esse é agregado por um aglutinante e depositado por cabeçote de impressão tipo jato de tinta.



### ● Vantagens

- Não utiliza laser
- Alta velocidade
- Não há desperdício de material
- Não preciso de elementos de sustentação
- Há a possibilidade da obtenção de peças coloridas

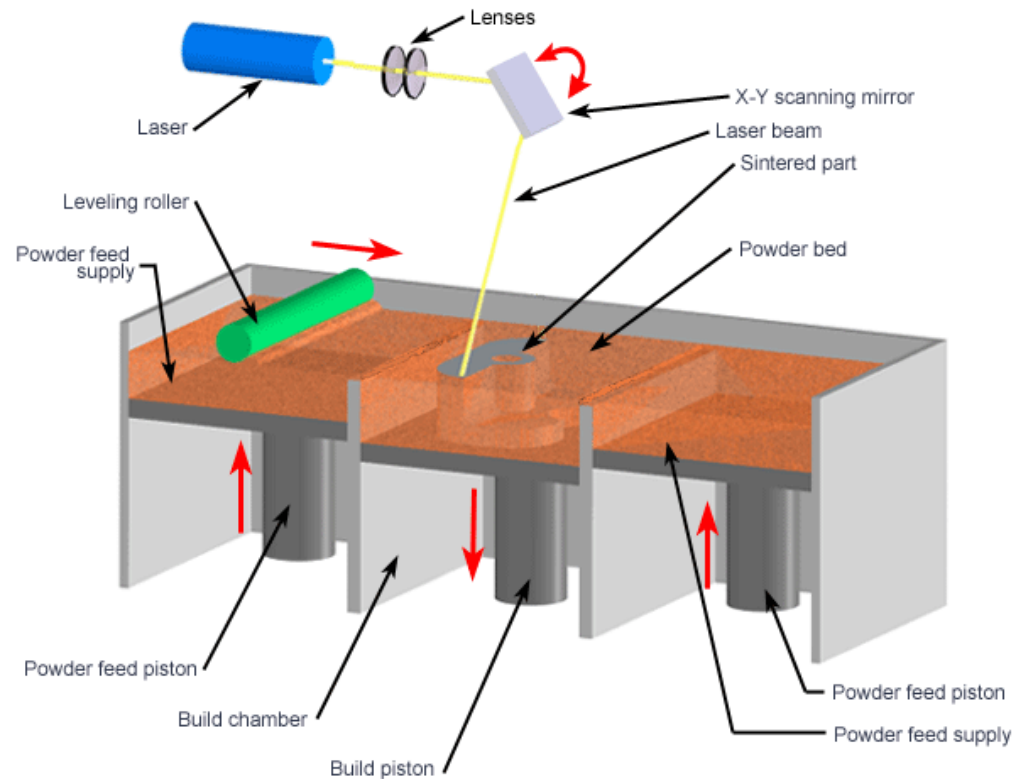
### ● Desvantagens

- Limitação da funcionalidade das peças obtidas
- Pouca diversidade de material
- Necessita de pós-processamento para limpeza e infiltração com resina para melhor resistência das peças

Figura 18

## ● SLS – Selective Laser Sintering (Sinterização Seletiva a Laser)

- Foi desenvolvido e patenteado pela Universidade do Texas e pela empresa DTM.



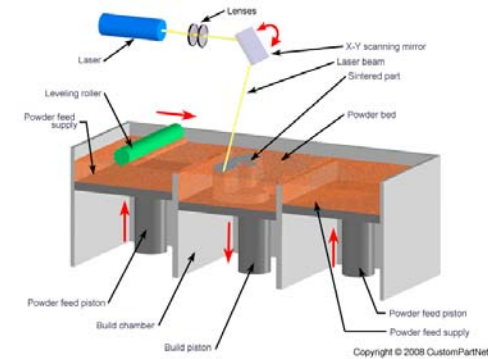
[Fonte: Google Imagens]

Figura 19

## ● SLS – Selective Laser Sintering

### ● Princípio

- O pó é espalhado pela peça através de um dispositivo podendo ser um rolo e esse é levado ao ponto de fusão pela incidência do laser, agregando-se a camada anterior e formando o corpo da peça.



### ● Vantagens

- Vários materiais não tóxicos podem ser utilizados
- Um único equipamento processa vários materiais
- Não necessita elementos de sustentação
- Fabrica tanto peças visuais como funcionais

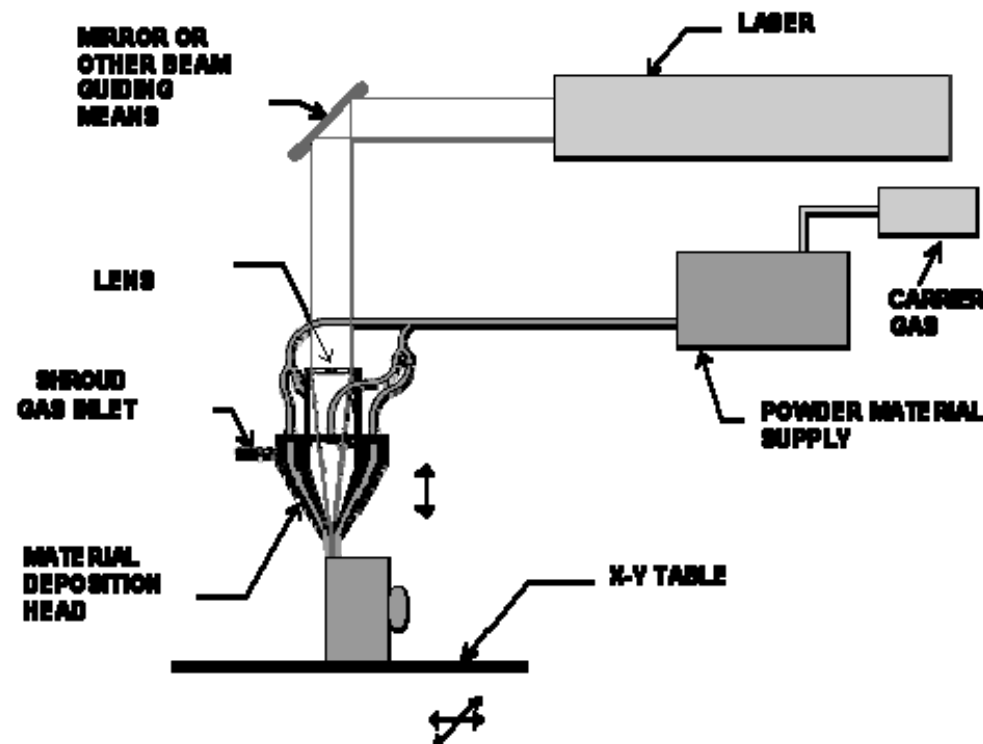
### ● Desvantagens

- Tende a ter um acabamento superficial não muito bom
- Custo elevado do equipamento
- Consumo elevado de energia para sinterizar

Figura 20

## ● Lends – Laser Engineered Net Shaping (Fabricação da Forma Final Via Laser)

- Foi desenvolvido inicialmente pelo laboratório da Sandia. Devido ao grande potencial que oferece para a obtenção de peças complexas metálicas com elevada resistência mecânica



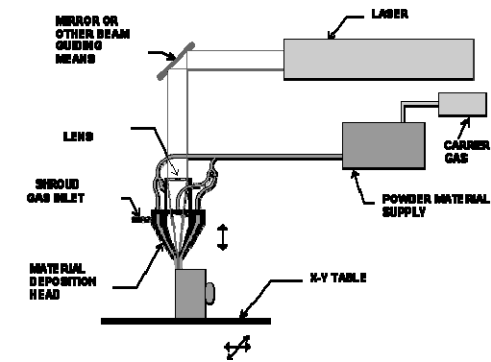
[Fonte: Google Imagens]

Figura 21

## ● Lends – Laser Engineered Net Shaping

### ● Princípio

- O pó metálico é direcionado continuamente por um bico para o ponto focal do laser, fundindo-se e construindo desta maneira a peça



### ● Vantagens

- Obtenção de peças metálicas com um material completamente denso e com alta qualidade mecânica
- Não necessita de pós-processamento em forno
- Processo pode reparar peças danificadas

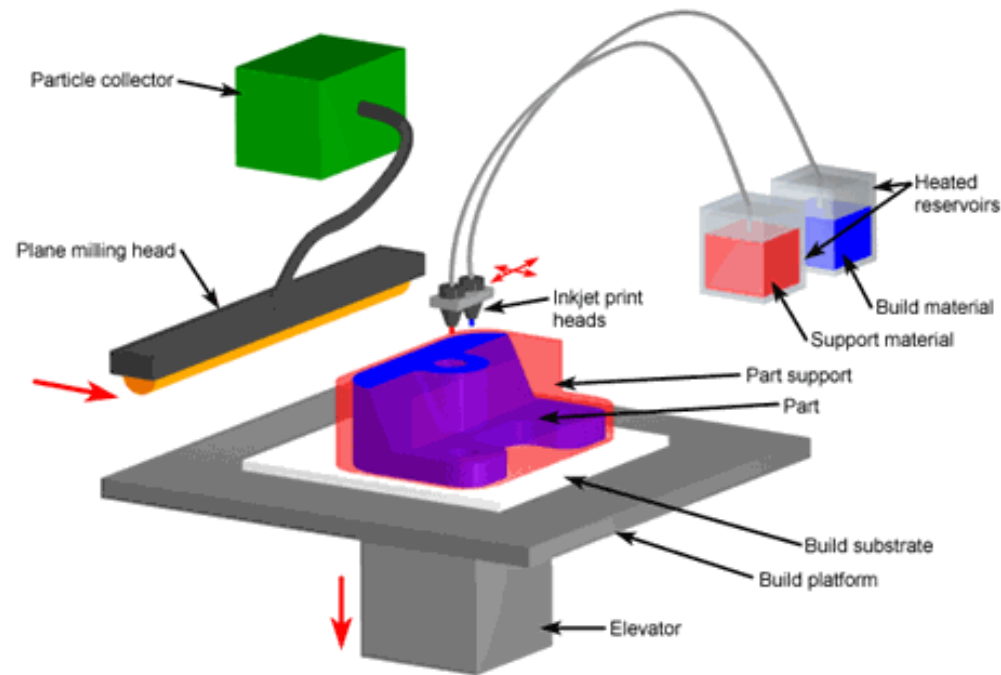
### ● Desvantagens

- Utiliza um laser com alto consumo de energia
- Somente oferece a possibilidade de se obter peças metálicas
- Acabamento superficial não muito bom

Figura 22

## ● MJM – Mult-Jet Modeling (Impressão 3D)

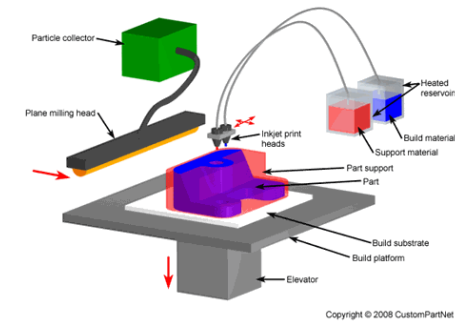
- Relativamente recente e foi desenvolvida pela empresa Object Geometries Ltd, de Israel



## ● MJM – Mult-Jet Modeling

### ● Princípio

- Utiliza do princípio de jato de tinta para depositar a resina em pequenas gotas sobre uma bandeja e imediatamente após a deposição, lançar uma luz UV para a cura da camada.



### ● Vantagens

- Possui uma boa precisão
- Boa qualidade superficial
- Não requer pós-cura da resina
- Não utiliza laser

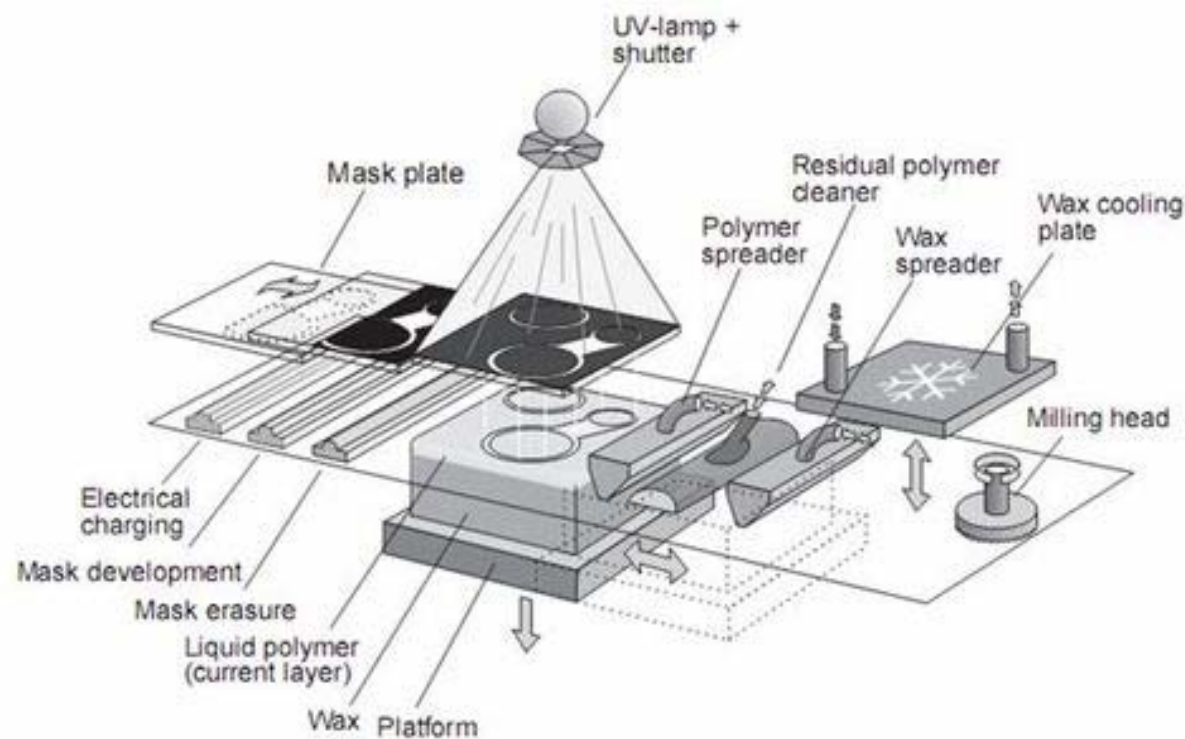
### ● Desvantagens

- Necessita de suporte em regiões não conectadas
- Necessita de pós-processamento para a remoção dos suportes
- Poucos materiais disponíveis para a obtenção de protótipos



## ● SCG – Solid Ground Curing (Cura Sólida na Base)

- Relativamente recente e foi desenvolvida pela empresa Object Geometries Ltd, de Israel



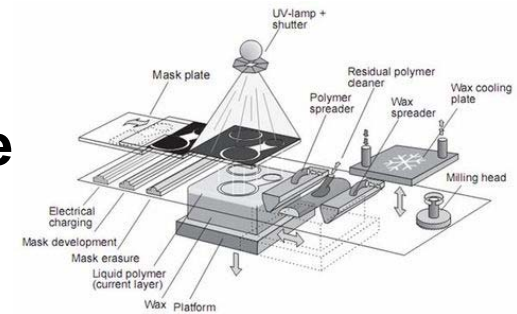
[Fonte: Google Imagens]

Figura 25

## ● SCG – Solid Ground Curing (Cura Sólida na Base)

### ● Princípio

- É um processo bastante similar a estereolitografia, pois ambos usam radiação ultravioleta para endurecer, de forma seletiva, polímeros fotossensíveis. Contudo, ao contrário da estereolitografia, este processo cura uma camada inteira de uma vez



### ● Vantagens

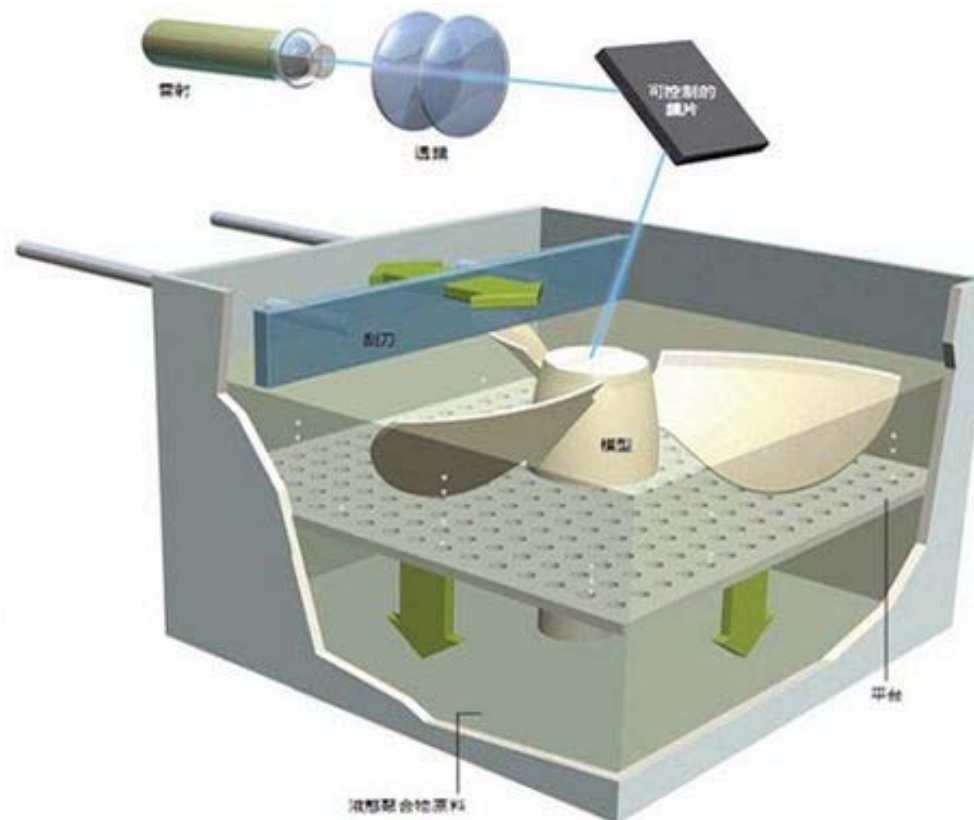
- Possibilidade de cura da camada de uma única vez
- Não necessita de suportes para geometrias não conectadas
- Boa qualidade superficial

### ● Desvantagens

- O tamanho do equipamento é relativamente grande
- O sistema proporciona ruídos maiores do que os outros sistemas

## ● SLA – Stereolithography (Estereolitografia)

- Foi o primeiro processo de prototipagem rápida comercial. Foi apresentado em 1988 na feira US Autofact pela 3D Systems Inc. nos EUA.



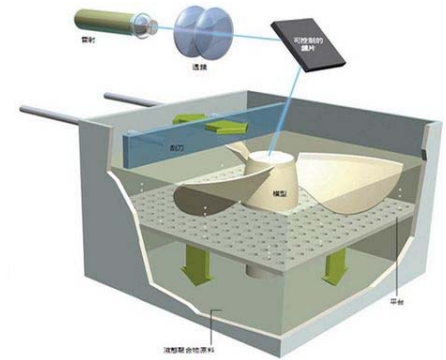
[Fonte: Google Imagens]

Figura 27

## ● SLA – Stereolithography (Estereolitografia)

### ● Princípio

- Existe em um recipiente uma resina líquida foto curável. Nesse, uma plataforma mergulhada desloca-se para baixo a cada camada construída. Um sistema de laser reproduz a geometria da fatia e um espalhador reaplica a resina na próxima camada.

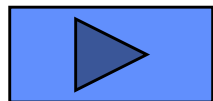


### ● Vantagens

- É um dos processos mais difundidos.
- Possui boa precisão
- Elevada qualidade superficial

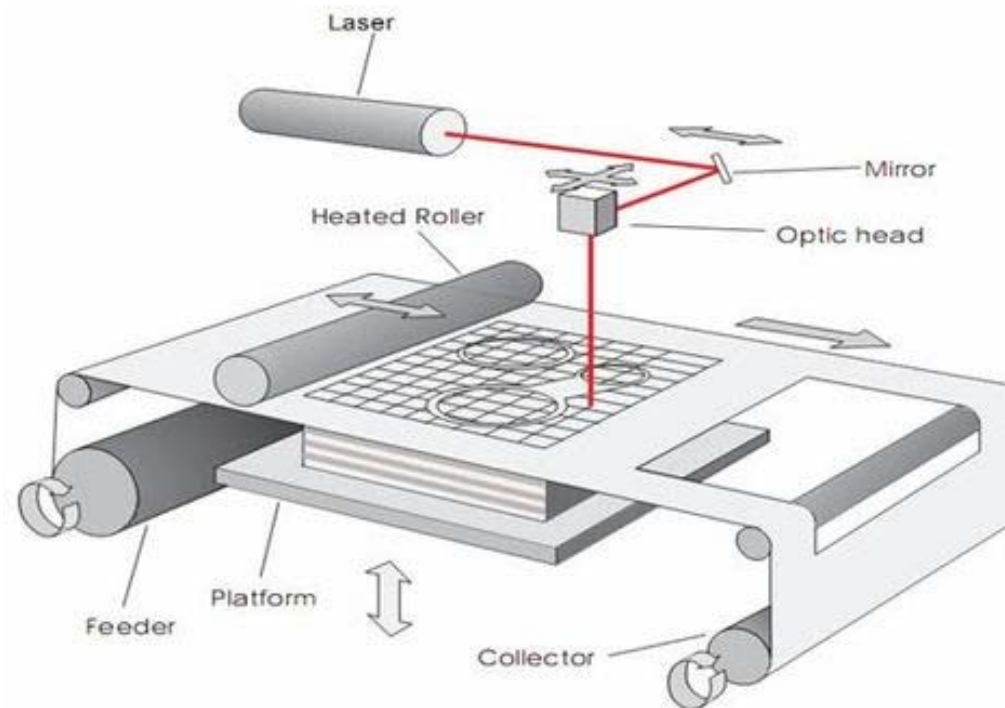
### ● Desvantagens

- Necessita de suporte para regiões não conectadas
- Necessita de pós-processamento para a remoção dos suportes
- A resina é agressiva ao operador (tóxica)



Exemplo Motorola 1'58''

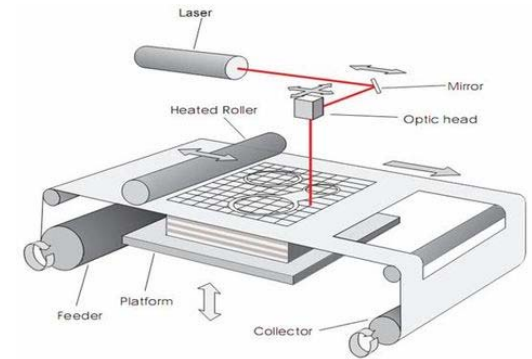
- **LOM – Laminated Object Manufacturing (Manufatura de Objetos em Laminas)**
  - É também um dos primeiros processos disponíveis comercialmente. É comercializado pela empresa Cubic Technology, antiga Helisys.



## ● LOM – Laminated Object Manufacturing

### ● Princípio

- Deposição sucessiva de folhas de materiais adesivo em um dos lados para construir a peça camada a camada e cortado por um feixe de laser CO<sub>2</sub>



### ● Vantagens

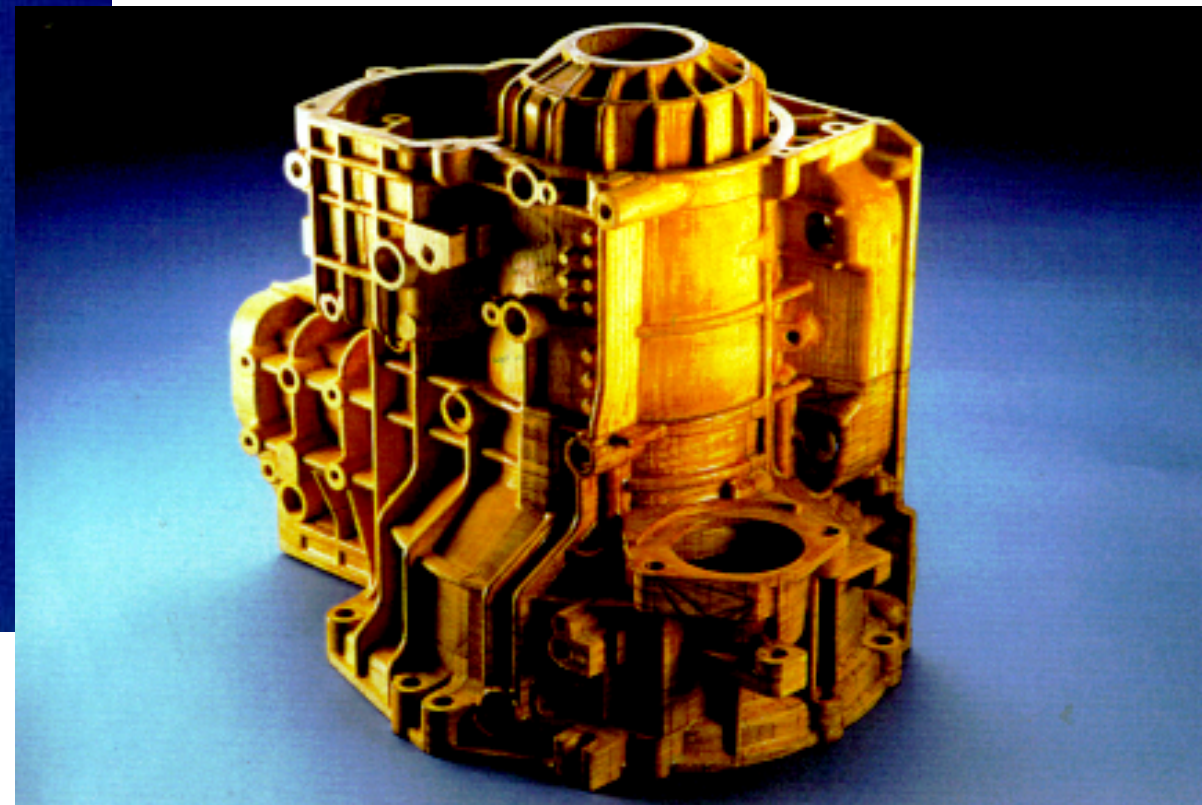
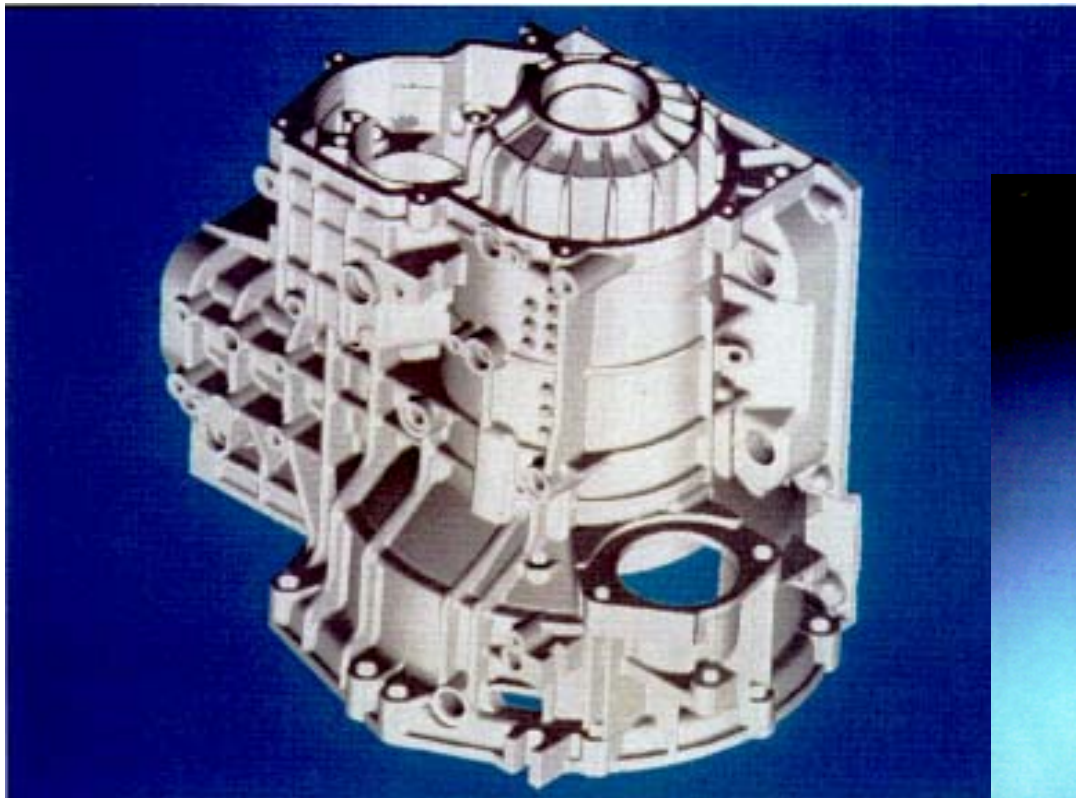
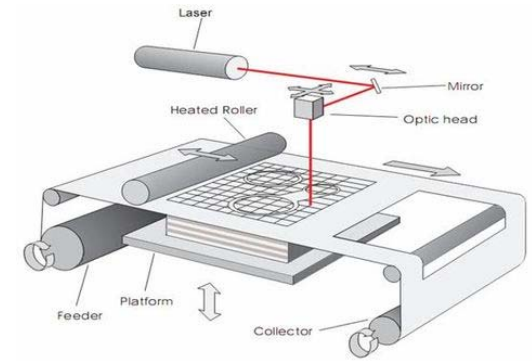
- Não requer pós-cura dos materiais
- Não necessita de suportes nas regiões não conectadas
- A velocidade do processo é alta

### ● Desvantagens

- Poucos materiais para a obtenção de protótipos
- Material não é flexível
- A etapa de pós-processamento é trabalhosa
- Não é indicado para a obtenção de paredes finas

Figura 30

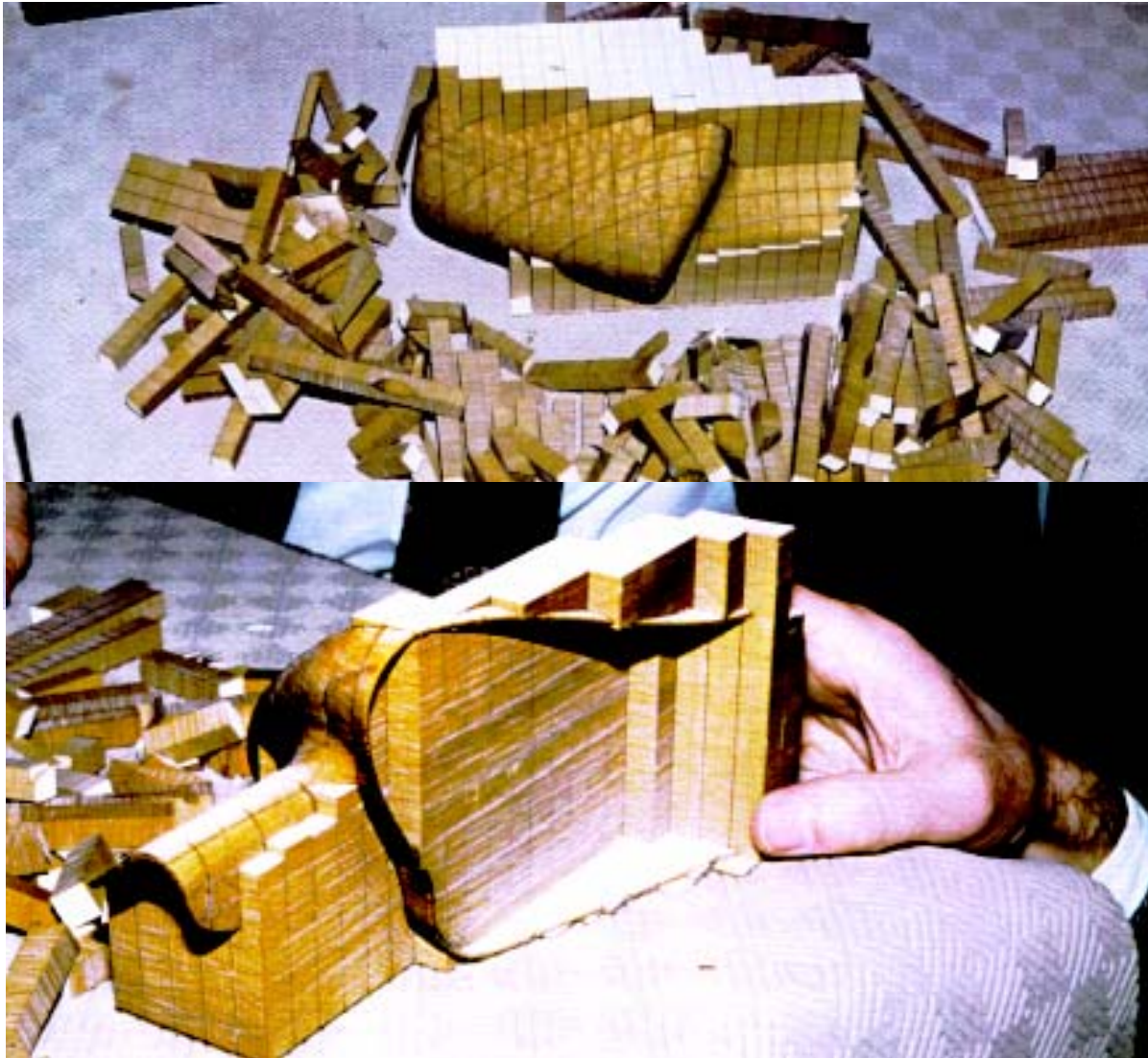
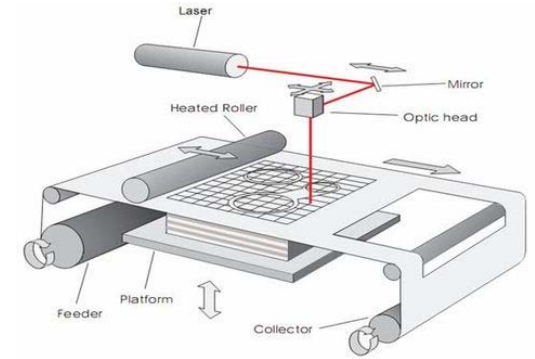
## ● LOM – Laminated Object Manufacturing



[Fonte: Delcam International plc]

Figura 31

## ● LOM – Laminated Object Manufacturing



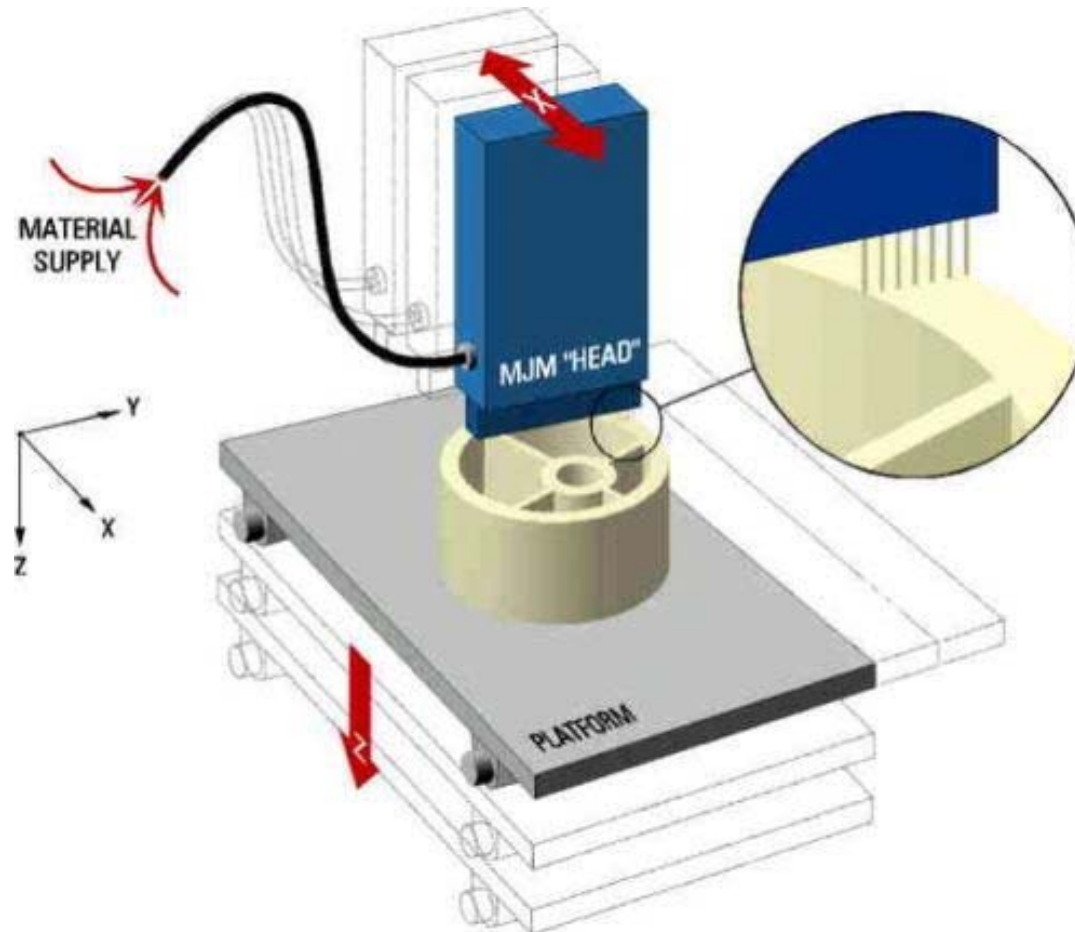
[Fonte: Delcam International plc]

Figura 32



## ● MJM – Mult-Jet Modeling (Impressão 3D)

- Foi desenvolvido pela empresa 3D Systems, dos EUA. O processo é considerado um modelador conceitual



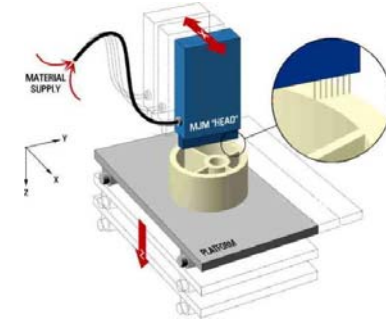
[Fonte: Google Imagens]

Figura 33

## ● MJM – Mult-Jet Modeling

### ● Princípio

- Processo similar ao jato de tinta por líquido, nesse caso, o material é depositado em pequenas gotas e o contato com o material já solidificado faz com que esse se solidifique.



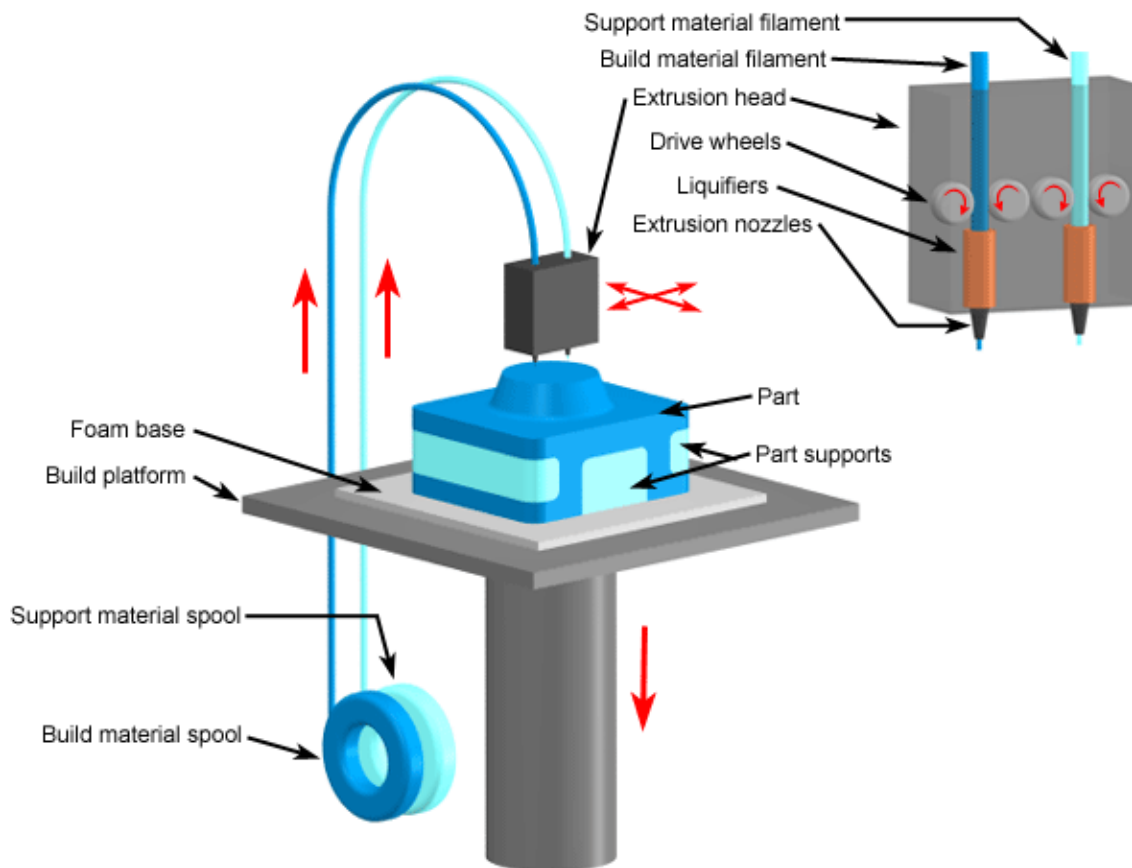
### ● Vantagens

- Facilidade de utilização
- Processo relativamente rápido
- Não utiliza laser

### ● Desvantagens

- Necessita de suporte em regiões não conectadas
- Necessita de pós-processamento para a remoção dos suportes
- Protótipos frágeis

- **FDM – Fused Deposition Modeling (Modelagem por Deposição de Material Fundido)**
  - A empresa Stratasys está entre as primeiras a trabalhar com esse processo



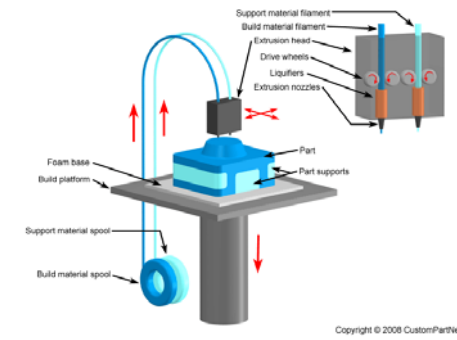
[Fonte: Google Imagens]

Figura 35

## ● FDM – Fused Deposition Modeling

### ● Princípio

- Constrói o protótipo por deposição de material extrudado.



### ● Vantagens

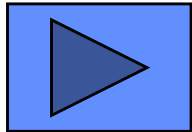
- Fabricação de peças que podem ser utilizadas para testes funcionais
- Não requer pós-cura
- Não utiliza laser
- Pode ser utilizado em ambiente de escritório

### ● Desvantagens

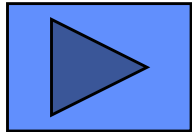
- Necessita de suporte para regiões não conectadas
- Necessita de pós-processamento para a remoção dos suportes
- Precisão não muito boa
- Velocidade do processo lenta

Figura 36

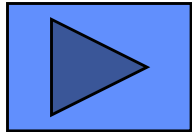
## ● FDM – Fused Deposition Modeling



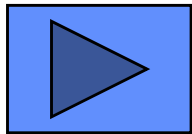
Video FDM\_software 2'20"



Video FDM\_processo 1'40"



Video FDM\_acabamento 1'25"



Video FDM\_teste 50"

- **O custo da implantação de um sistema de prototipagem rápida deve ser levada em conta na decisão de utilizar esta tecnologia, uma vez que, os investimentos iniciais podem superar US\$ 1 milhão dependendo da configuração e do tamanho do equipamento;**
- **Dentre os custos de implantação de um sistemas de prototipagem rápida destacam-se:**
  - Equipamento;
  - Instalações;
  - Manutenção;
  - Material de limpeza e polimento dos protótipos;
  - Matéria Prima.

## Equipamento

- Atualmente, existem mais de 15 fabricantes com 50 diferentes sistemas e uma variação de preço de US\$ 45.000,00 a US\$ 1.200.000,00 (equipamentos para uso de aço inox, titânio e cerâmica)
- No entanto, a compra do equipamento não representa o maior custo.



Figura 39

### Manutenção

- O custo anual de manutenção é em torno de 10% do valor de compra do equipamento
- O custo do contrato de manutenção de software pode chegar à US\$ 6.000,00 ano/equipamento.

### Matéria Prima

- O custo da matéria prima varia conforme o tipo e a quantidade
- Por exemplo, os polímeros usados no processo de estereolitografia, custam na ordem de US\$ 200,00/Kg
- Na maioria dos casos a sobra de material não pode ser totalmente reutilizada
- 20 à 30% do custo do protótipo esta relacionado com a matéria prima



# Aplicação no Desenvolvimento do Produto

- Maior conhecimento do produto na fase de concepção (“*Frontloading*”)
- Redução do tempo de desenvolvimento do produto
- Permite o lançamento de lote piloto e/ou produto pré-série
- Treinamento dos setores de montagem e/ou assistência técnica

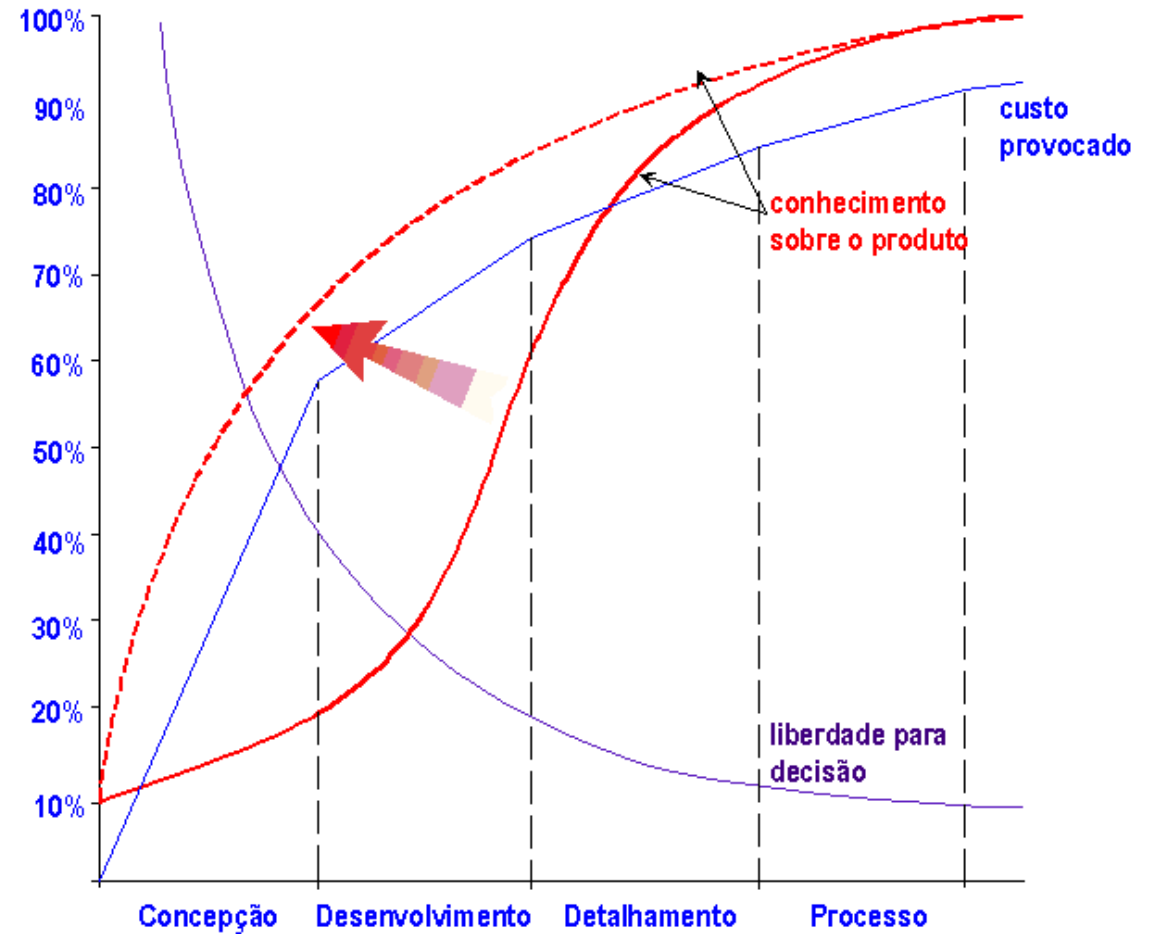


Figura 41

Os processos de prototipagem rápida podem ser aplicados às mais diversas áreas, tais como:

- Automotiva
- Aeronáutica
- Marketing
- Restaurações
- Educação
- Paleontologia
- Arquitetura

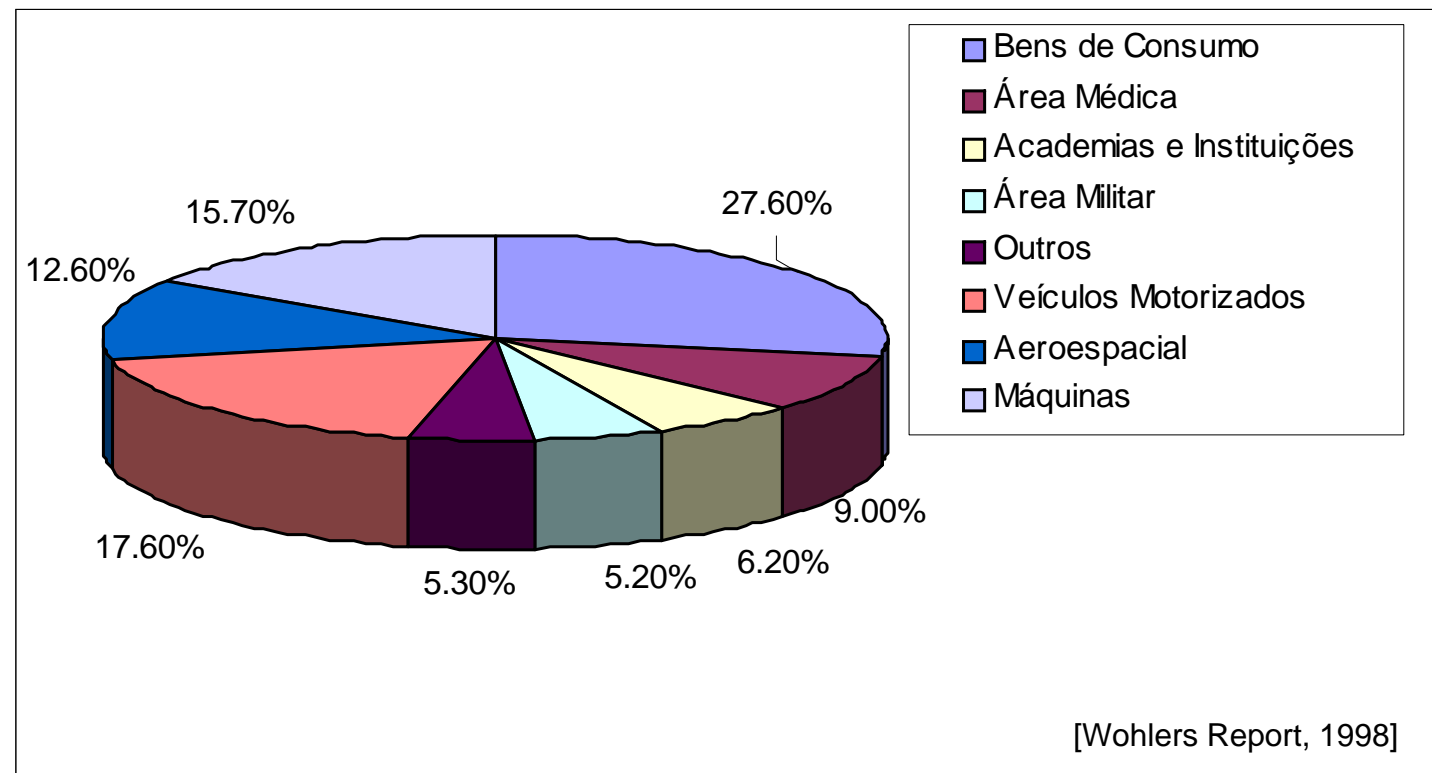


Figura 42

# Exemplos de aplicação: Engenharia

## Aplicação

- Conceção do produto
- Teste funcional
- Fabricação de ferramentas
- Manufatura do produto



## Processos

- Todos os processos são utilizados, a escolha depende da aplicação



Figura 43

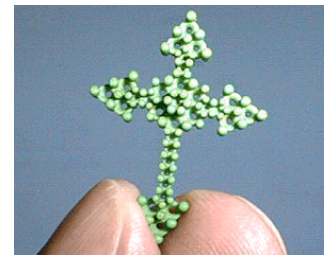
## Aplicação

- Fabricação de esculturas
- Design de joias
- Protótipos de projetos arquitetônicos



## Processos

- Estereolitografia e impressão à jato de tinta
- LOM – Arquitetura



## Aplicação

- Planejamento Cirúrgico
- Fabricação de implantes de metal

## Processos

- Estereolitografia e impressão à jato de tinta no planejamento cirúrgico
- SLS e LENS na fabricação de implantes



Figura 45

## Aplicação

- Antropologia – estudo dos fósseis
- Genética – estudo de modelos moleculares
- Protótipos de Projetos (Arquitetura)

## Processos

- Estereolitografia
- Impressão à jato de tinta
- LOM

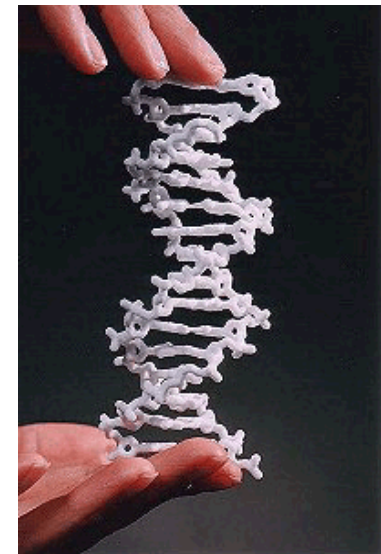


Figura 46

# Comparação entre Tecnologias de Prototipagem Rápida

<b>Tecnologia</b>	<b>FDM</b>	<b>3DP</b>	<b>SLS</b>	<b>LOM</b>	<b>SLA</b>
<b>Exatidão (mm)</b>	<b>0,36</b>	<b>0,64</b>	<b>0,46</b>	<b>0,25</b>	<b>0,15</b>
<b>Tempo</b>	<b>42h 10min</b>	<b>5h 40min</b>	<b>6h 51min</b>	<b>19h 39min</b>	<b>26h 19min</b>
<b>Custo</b>	<b>US\$ 421</b>	<b>US\$ 113</b>	<b>US\$ 268</b>	<b>US\$ 393</b>	<b>US\$ 790</b>

Figura 47